

حرکت یکنواخت ذرات uniform particle motion

دکتر احمد نیک پی
عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین
تاریخ انتشار پاییز ۱۳۹۲
nikpey@gmail.com

منبع

- مهندسی کنترل آلودگی هوا، نونل دنورز، فصل هشتم
- کنترل آلودگی هوا، دیوید کوپر، فصل سه
- غبارگیری و تصفیه گازها، گوردون پیساکوف، فصل هفت
- **Hinds, W. C. (1999) Aerosol Technology: Properties, Behavior, and measurement of air born particles. John Willey & Sons Inc.chap3**
- **Friedlander S. K. (2000) Smoke, dust, and haze: fundamentals of aerosol dynamics. Oxford University Press.**

اهداف آموزشی

- آشنایی با قوانین حاکم بر ته نشینی ذرات
- آشنایی با مولفه های موثر بر ته نشین ذرات

		Particle Diameter, μm									
		10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	
Electromagnetic Wave		← x-Ray →		← UV →		Vis		← Infrared →		← Microwaves	
Definition	Solid Liquid	← Fume →		Mist		← Dust →		← Spray →			
Soil		← Clay →			Silt		← Sand →		← Gravel		
Atmospheric		← Smog →			← Cloud/Fog →		Mist		← Rain →		
Typical Particles		← Viruses →		← Bacteria →		Human Hair		← Beach Sand			
Size Analysis Method		← Electron Microscope →		← Microscope →		← Sieving →					
		← x-Ray Diffraction →		← Sedimentation →							
		← Ultra Centrifuge →									
Gas Cleaning		← Ultrasonics →		← Centrifugal →		Settling Chamber					
		← Liquid Scrubber →		← Air Filter →		← Impact Separators →					
		← HE Air Filter →		← Thermal Separators →							
		← Electrostatic Separators →									
Diffusion Coeff. cm^2/s	Air Water	5×10^{-2} 5×10^{-6}	5×10^{-4} 5×10^{-7}	10^{-5} 5×10^{-8}	3×10^{-7} 5×10^{-9}	2×10^{-9} 5×10^{-10}	2×10^{-10} 5×10^{-11}	2×10^{-11} 5×10^{-12}	5×10^{-13}		
Terminal (S=2) Velocity cm/s	Air Water	10^{-6} 10^{-10}	1.5×10^{-5} 6×10^{-9}	2×10^{-4} 6×10^{-7}	7×10^{-3} 6×10^{-5}	0.6 6×10^{-3}	50 0.6	600 12	2.5×10^3 58		
		10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	
		Particle Diameter, μm									

حرکت پکنواخت ذرات

- نیروی ثابت خارجی نظیر نیروی جاذبه زمین، گریز از مرکز و یا نیروهای الکتریکی
- مقاومت گاز یا سیالی که ذره در آن شناور است (نیروی مقاومت یا پسا و یا دراگ)

• قوانین حرکت اجسام

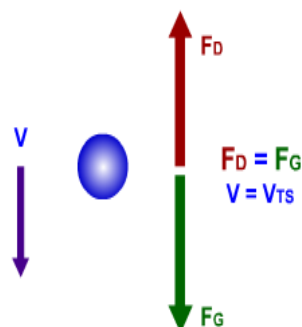
- اجسام درشت: قانون نیوتن Newton's law

- اجسام ریز قانون استوک stokes law

قانون نیوتن

- نیروی دراگ یا نیروی لازم برای عبورگویی از درون سیال متناسب با تغییر اندازه حرکت سیال جابجا شده یا همان سرعت ذره می باشد.

$$F_D = K \rho_g \frac{\pi}{4} d^2 V^2$$

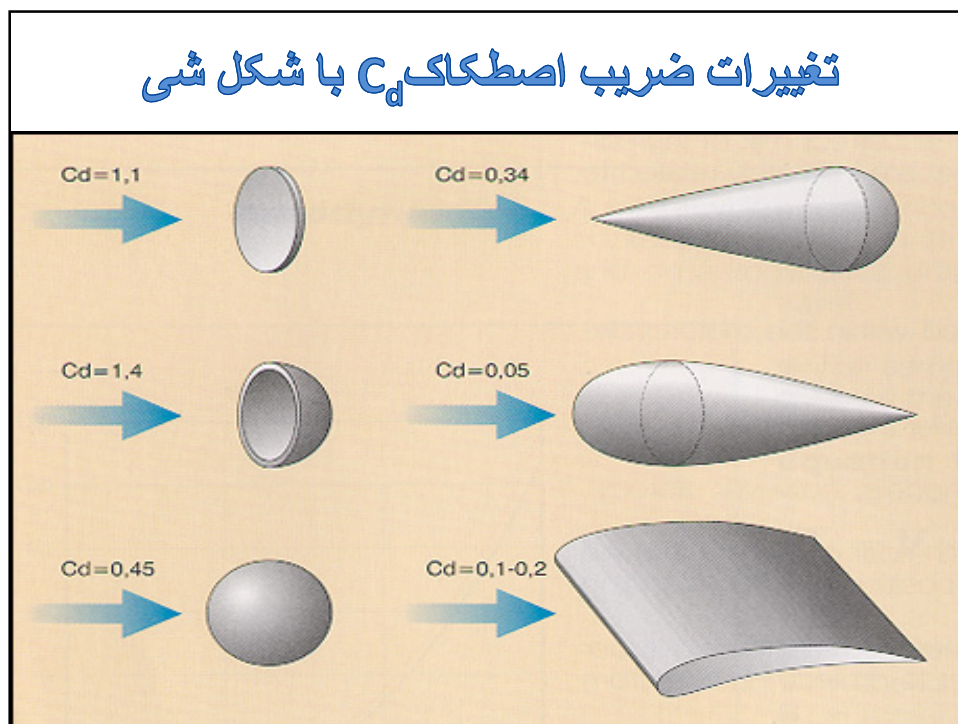
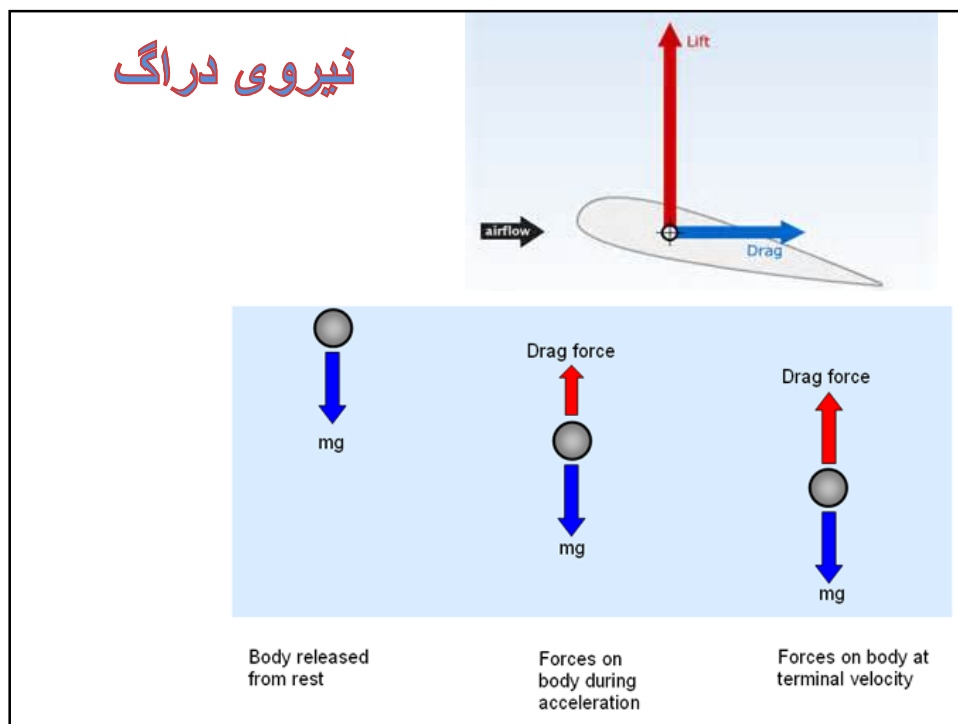


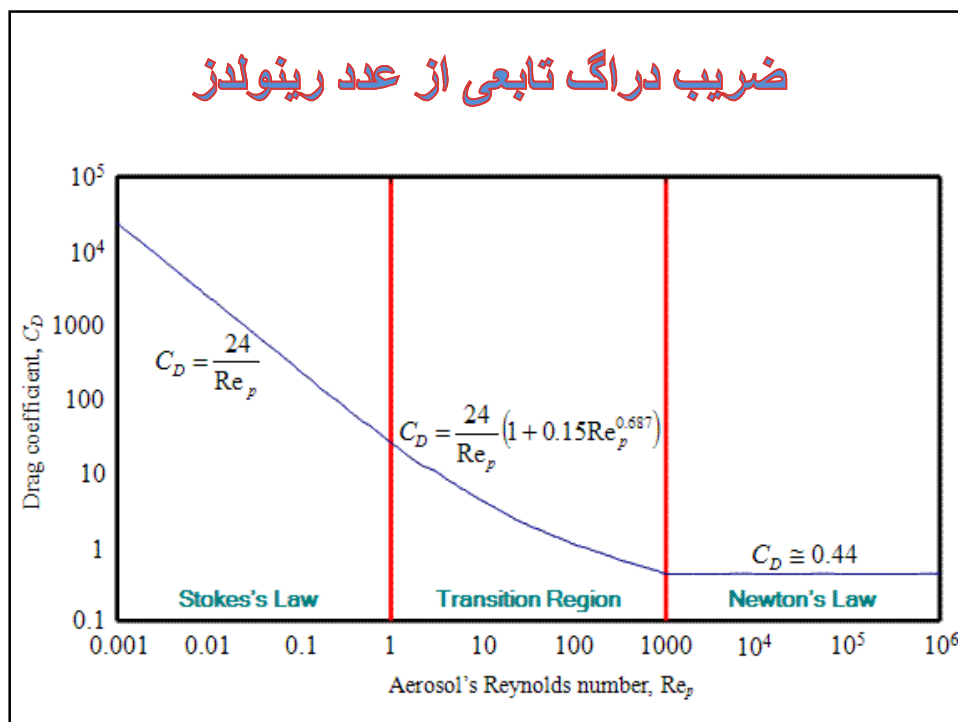
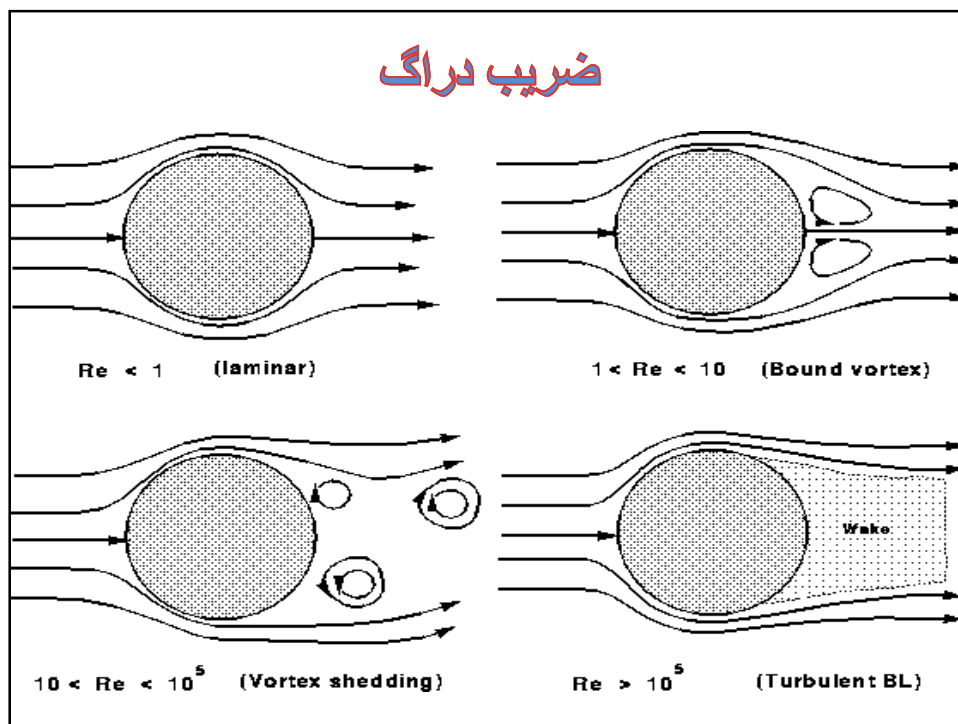
آیا حرکت آئروسول ها تابع قانون نیوتن است؟

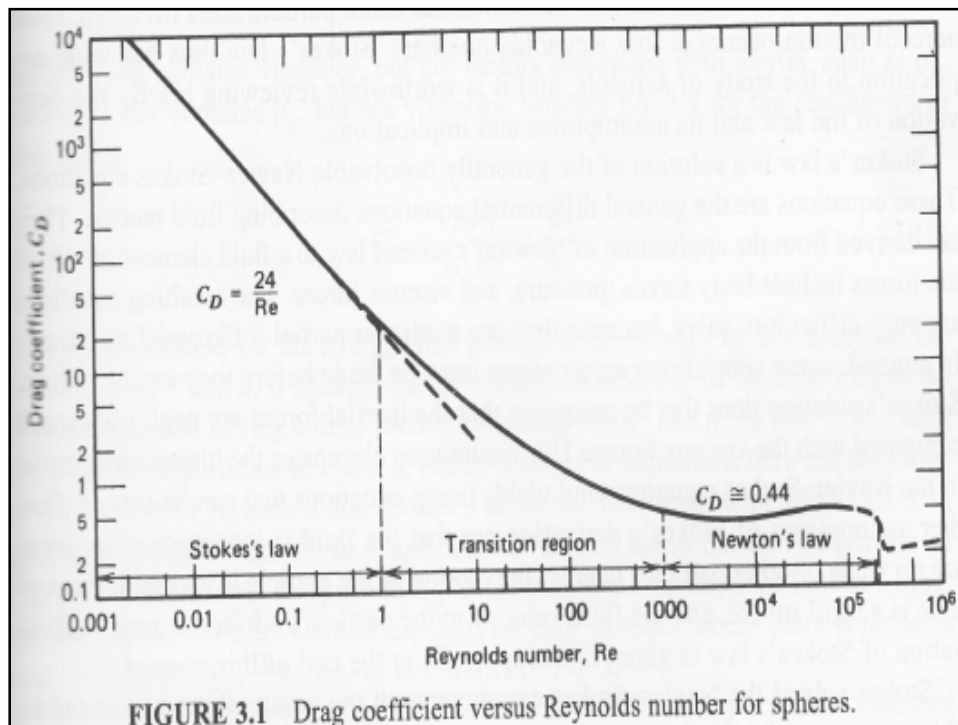
- در حرکت ذرات بر اساس قانون نیوتن، نیروهای اینرسی بر نیروهای ویسکوزی غلبه دارند.

$$F_D = C_D \frac{\pi}{8} \rho_g d^2 V^2$$

- اعداد رینولدز بیشتر از ۱۰۰۰ برای ذرات و اشیاء بزرگ است که اینرسی در مورد آنها زیاد و سیال هوا برای آنها ناپیوسته است ولی برای ذرات کوچک عدد رینولدز بسیار کم است.







قانون استوک

– تحت این شرایط نیروی ویسکوزیته بر اینرسی غلبه می‌کند.

– قوانین استوک برگرفته از کاربرد قانون دوم نیوتن به جزء سیالی هستند. نیروهای وارده شامل نیروی بویانسی، دراک و ویسکوزیته هستند.

فرضیات قانون استوک

$$F_D = 3\pi\eta dV$$

- نیروی اینرسی ذره در مقایسه با نیروی ویسکوزیته سیال ناچیز است.
- سیال تراکم ناپذیر است
- هیچ دیواره یا ذره دیگری در اطراف ذره مورد بحث وجود ندارد.
- حرکت ذره ثابت و یکنواخت است.
- ذره به کروی، محکم و سفت است.
- سرعت سیال در اطراف سطح کره صفر است چون سیال ویسکوز است.
- عدد رینولدز کمتر از یک باشد.
- در رینولدز یک میزان خطا در نیروی دراگ ۱۲٪ و در رینولدز ۰٫۳ به حدود ۵٪ می رسد.

فرضیات معتبر در قانون استوک

- سیال تراکم ناپذیر است:
- سیال اطراف ذره در حین عبور ذره متراکم نمی شود چون سرعت ذره بسیار کم و نسبت نیروی اینرسی به ویسکوزیته بسیار کم است.
- حضور دیگر سطوح در فاصله ۱۰ برابری از قطر ذره مورد بررسی سبب تغییر در ضریب دراگ می شود:
- آئروسول ها از سایز کوچکی برخوردار هستند از اینرو بخش بسیار کوچکی از آئروسول ها واقعا در فاصله ۱۰ برابری قطر ذره از دیواره ظرف یا لوله قرار می گیرند.

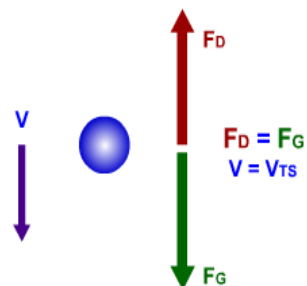
قانون استوک و ذرات نرم (غیر سفت)

– سرعت ته نشینی قطره ای از آب، ۰,۶٪ سریع تر از مقدار پیش بینی شده توسط قانون استوک خواهد کرد.

قانون استوک

$$ma = \rho_{\text{ذره}} \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g - \rho_{\text{سیال}} \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g - F_D$$

$$F_D = \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g (\rho_{\text{ذره}} - \rho_{\text{سیال}})$$



ته نشینی آئروسل ها بر اثر نیروی جاذبه

- نیروی اینرسی (F_D) = نیروی دراک $(F_G = mg)$

$$F_D = 3\pi\eta dV$$

$$\rho_p \gg \rho_g$$

$$F_G = \frac{(\rho_p - \rho_g)\pi d^3 g}{6}$$

برای قطره آب در حال سقوط

$$\frac{\rho_p}{\rho_g} = 800$$

$$V = \frac{(\rho_p - \rho_g)d^2 g}{18\eta}$$

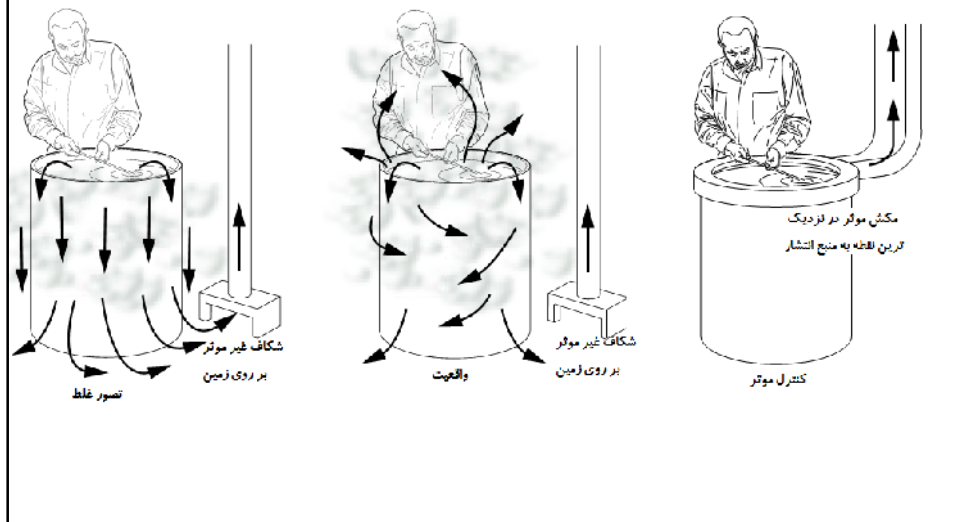
$$d > 1\mu m \text{ و } Re < 1$$

سرعت ته نشینی نهایی ذره ای با قطر یک میکرومتر با دانسیته ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب را در هوا محاسبه کنید؟

$$V = \frac{\left(\frac{9.81m}{s^2}\right)(10^{-12} m^2)\left(\frac{2000kg}{m^3} - 1.2kg/m^3\right)}{(18)(1.8 \times 10^{-5} kg/m.s)}$$

$$= 6.05 \times 10^{-5} \frac{m}{s} = \frac{0.00605 cm}{s} = 1.99 \times 10^{-4} ft/s$$

تأثیر دانسیته بر ته نشینی ذرات



پیش بینی سرعت ته نشینی ذرات کروی با دانسیته آب)
یک گرم بر سانتی متر مکعب) در شرایط استاندارد

$$VTS \approx 3 \times 10^{-5} \times d^2 \quad \text{m/s}$$

برای $1 < d < 100 \mu\text{m}$

$$VTS \approx 0.003 \times d^2 \quad \text{cm/s}$$

برای $1 < d < 100 \mu\text{m}$

در کدام مورد فرضیات قانون استوک قابل استفاده است

- ذره ای با قطر ۱ میکرومتر با سرعت سقوط یک متر بر ثانیه :
قانون استوک برای این ذره صادق است
- ذره ای با قطر ۱۰ میکرومتر با سرعت سقوط یک متر بر ثانیه :
قانون استوک برای این ذره صادق است
- ذره ای با قطر ۱۰۰ میکرومتر با سرعت سقوط ده متر بر ثانیه :
قانون استوک برای این ذره صادق نیست
- ذره ای با قطر ۱۰۰۰ میکرومتر با سرعت سقوط بیست متر بر
ثانیه: قانون استوک برای این ذره صادق نیست

تقویت نیروی ته نشینی استوک

$$V_{TS} = \frac{\rho_p d^2 g}{18\eta}$$

- ذره ای با سرعت ۶۰ ft/s در مسیری با شعاع چرخش ۱ فوت
در حال ته نشینی است. نسبت نیروی گریز از مرکز به نیروی
جاذبه وارده بر آن را محاسبه کنید؟

$$\frac{\text{نیروی ساترifiوژ}}{\text{نیروی جاذبه}} = \frac{mv^2/r}{mg} = \frac{(60ft/s)^2(1ft)}{32.2ft} = 111.8$$

سرعت ته نشینی در غبارگیر سیکلون

$$V_{Ts} = \frac{\rho_p d^2 a_c}{18\eta} = \frac{\rho_p d^2 V_c^2}{18\eta R}$$

- سرعت ته نشینی ذره ای به قطر یک میکرومتر با دانسیته ۲ گرم بر سانتی متر مکعب را در جریان هوای با سرعت زاویه ای ۱۸,۲۹ m/s و شعاع چرخش ۰,۳۴۸ متر را محاسبه کنید؟

$$V_{Ts} = \frac{2000(10^{-6})^2(18.29\text{m/s})^2}{18(1.8 \times 10^{-5}\text{kg/m.s})(0.3048\text{m})} = 0.0068\text{m/s}$$

متشکرم